

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

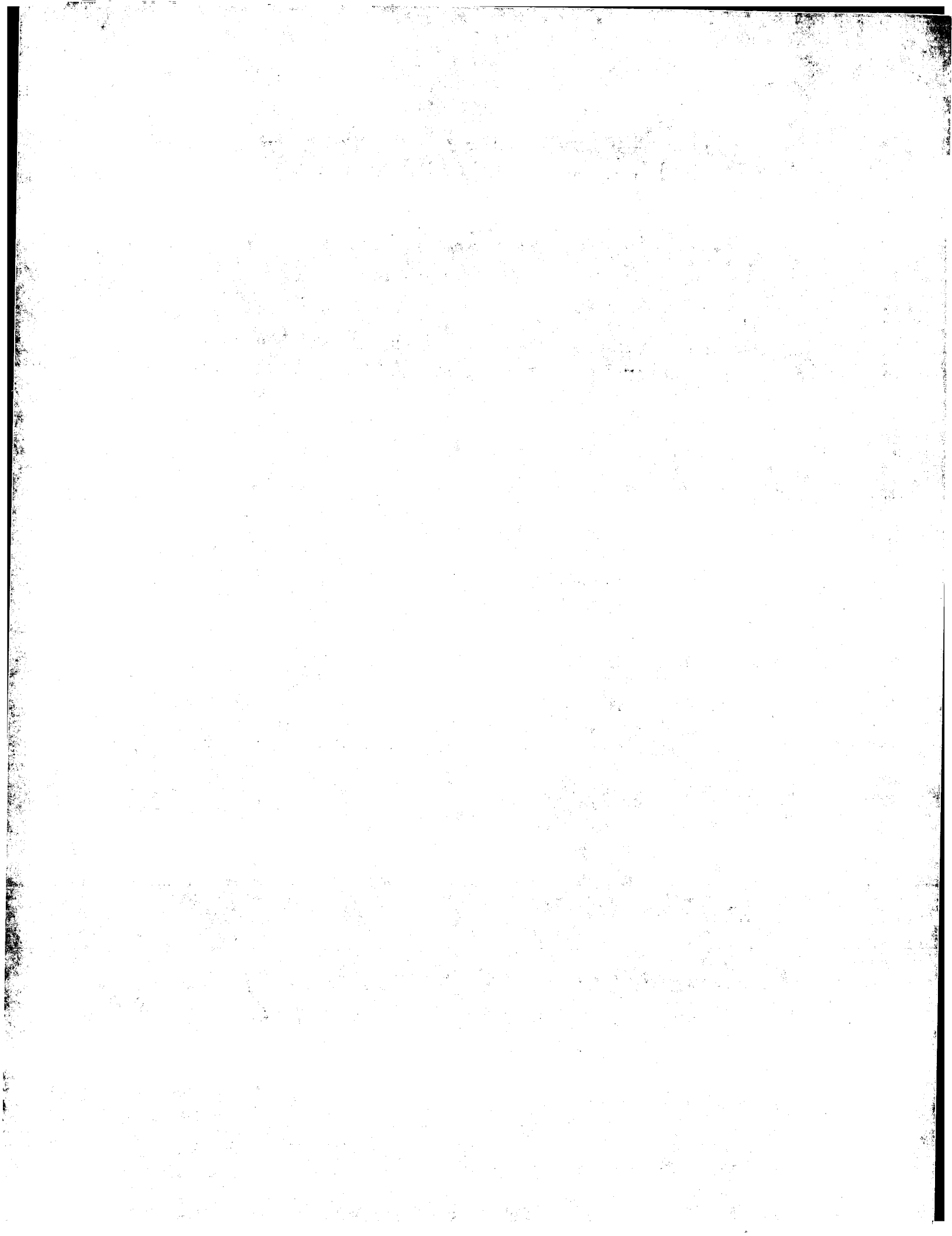
Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**





19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

21 Offenlegungsschrift
20 DE 41 15 846 A 1

51 Int. Cl.⁵:
B 25 J 19/00
G 01 B 11/03
G 06 F 15/62
B 25 J 9/18

21 Aktenzeichen: P 41 15 846.6
22 Anmeldetag: 15. 5. 91
43 Offenlegungstag: 19. 11. 92

DE 41 15 846 A 1

71 Anmelder:
Ameling, Walter, Prof. Dr.-Ing.; Meisel, Andreas,
Dipl.-Ing., 5100 Aachen, DE; Föhr, Ralph, Dr.-Ing.,
5106 Roetgen, DE

72 Erfinder:
gleich Anmelder

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE 40 26 942 A1
DE 37 43 717 A1
DE 37 14 776 A1
DE 37 10 068 A1
DE 36 29 689 A1
DE 35 41 941 A1
DE 26 05 772 A1
EP 03 28 687 A1
EP 03 06 731 A2
SU 16 67 110

SU 16 60 018
SU 16 47 588
Abweichung erfassen. In: Maschinenmarkt,
Würzburg 93, 1987, 40, S.100-107;
SONDERMANN, J.P.;
NIMZ, P.: Neue Wege in der
Koor-dinatenmeßtechnik. In: Zwf Zeitschrift für wirt-
schaftliche Fertigung und Automation, 85, 1990, 4,
S.210-215;
KÖHLER, B.;
WADLE, M.: Kalibrierung eines Großrobo-ters mit
einem elektronischen Theodoliten. In:
Robotersysteme 6, 1990, S.112-118;
ROJEK;
P.: Zunehmende Leistungsfähigkeit. In:
Industrie-Anzeiger 31/32, 1987, S.42 u.45;
LAUFFS, H.G.: Der Programmierziger - ein neues
Werkzeug zur prozeßnahen
Roboterprogrammierung. In: Industrie-Anzeiger 83,
1988, S.38,43;
SCHERTENLEIB, Werner: 3D-Meßsystem mit
Winkelmeß-geräten. In: Technische Rundschau,
41/88, S.64,65;

54 Verfahren zur berührungslosen räumlichen Positionsmessung in Roboterarbeitsräumen

57 Roboterbasierte Fertigungszellen werden mit einer zuneh-
menden Anzahl von Bearbeitungs-, Prüf-, Zuführ- und
Abführeinrichtungen ausgestattet. Diese Einrichtungen ver-
fügen je nach ihren innewohnenden Freiheitsgraden über
unterschiedliche Koordinatensysteme, die beim Zusammen-
spiel in einem Fertigungsablauf aufeinander abgestimmt
werden müssen. Bislang wird dies manuell und damit
zeitraubend während der Inbetriebnahme mit Hilfe externer
Vermessungsgeräte oder durch Einlernen von Bewegungs-
positionen (Teach-in) durchgeführt.
In der hier beschriebenen Erfindung wird dieses Problem
dadurch gelöst, daß mit Hilfe des Roboterarms die photo-
grammetrischen Parameter ortsfester, elektronischer Bild-
aufnehmer bestimmt und auf ein gemeinsames Koordina-
tensystem bezogen werden. Damit können alle Positionen
von nicht an das Roboterkoordinatensystem gebundenen
Einrichtungen durch photogrammetrische Vermessung zu-
geordneter Bildaufnehmer in Bewegungspositionen für den
Roboter umgerechnet werden.
Dieses Verfahren ermöglicht während der Arbeitsphase
selbst bei beweglichen Peripherieeinrichtungen eine Online-
Zuordnung der Koordinatensysteme. Fertigungszellen mit
führerlosen Transportfahrzeugen, variabel positionierten Pa-
lettensystemen oder mobilen Robotersystemen können so-
mit durch die Vermessung der peripheren Koordinatensyste-
me aufeinander abgestimmt von Steuerungsprogrammen
bedient werden.

DE 41 15 846 A 1

Beschreibung

Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Unterstützung der flexiblen Programmierung komplexer Fertigungszellen bestehend aus Handhabungsgeräten (Roboter), Bearbeitungs-, Zuführ-Abführ- und Prüfeinrichtungen (periphere Einrichtungen). In diesen Zellen besitzt nicht nur der Roboter Bewegungsfreiheitsgrade sondern auch die genannten peripheren Einrichtungen. Um das Handhaben von Werkstücken und Werkzeugen in den unterschiedlichen Bewegungsräumen kontrolliert zu ermöglichen, müssen immer wieder Rendezvous-Punkte zwischen den einzelnen Einrichtungen existieren. Mit Hilfe des Roboters und auf ihn kalibrierter, elektronischer Bildaufnehmer kann ein photogrammetrisches Meßverfahren durchgeführt werden, bei dem solche Rendezvous-Punkte online und automatisch bestimmt werden.

Zugrundeliegender Stand der Technik

Positionsmessungen in roboterbasierten Fertigungszellen werden heute vielfach durch ein in der Einrichtung durchgeführtes Einlernen von benötigten Rendezvous-Punkte umgangen. Handelsübliche Robotersteuerungen verfügen dazu über Teach-in-Mechanismen mit denen je nach Ausführung jedes Gelenk einzeln oder alle Gelenke koordiniert in einem kartesischen System des Roboters bewegt, Stützpunkte dieser Bewegung abgespeichert und für das Roboterprogramm benutzt werden können.

Aufwendiger ist das manuelle Vermessen der Fertigungszelle mit Hilfe von Theodoliten oder von filmgestützten Meßkameras auf Basis der Nahbereichsphotogrammetrie ([KRAU83]). Vorteilhaft gegenüber dem reinen Teach-in ist allerdings, daß nur einige wenige Koordinaten der jeweiligen peripheren Einrichtung festgelegt werden müssen und weitere Koordinaten aus der bekannten Form oder dem Bild der peripheren Einrichtungen gewonnen werden können.

Beiden Verfahren ist gemein, daß Änderungen im Aufbau der Fertigungszelle längere Stillstandzeiten der Fertigung für das erneute Einrichten der Koordinaten mit nicht unerheblichem Personalaufwand folgen. Insbesondere dynamische Änderungen der Koordinatensysteme, wie sie durch mobile Roboter oder führerlose Transportfahrzeuge hervorgerufen werden, können durch die beiden genannten Ansätze nicht aufgefangen werden, sondern nur mit einem erhöhten mechanischen Aufwand bei den Rendezvous-Positionen gelöst werden.

Verfahren zur Positionsmessung auf der Basis von Bildern sind aus der Photogrammetrie hinlänglich bekannt. Erst seit kurzer Zeit werden dazu auch elektronische Bildaufnehmer in Form von Videokameras eingesetzt. Reproduzierbare Ergebnisse werden dabei insbesondere mit Halbleiterkameras erreicht, bei denen der Auftreffort der Lichtstrahlen auf der lichtempfindlichen Fläche des Aufnehmers durch die geometrisch hochgenaue Fertigung des Chips genügend exakt bestimmt werden kann.

Auf Punktmessungen spezialisierte Kamerasysteme werden auf Basis von sog. positionsempfindlichen Einheiten (PSD, position sensitive devices) angeboten. Ihr Einsatz wird für das Roboterumfeld ebenfalls vorgeschlagen ([ISHI87]), jedoch mit dem Nachteil, daß zu einem Zeitpunkt nur ein einziger Punkt vermessen werden kann.

Die Fähigkeit einer Videokamera, mit einer Bildwiederholrate im Bereich von 5 bis 100 Hz Szenen abzubilden und daraus eine Vielzahl von markanten oder markierten Punkten für Vermessungen zur Verfügung zu stellen, macht sie gerade für die in dieser Erfindung beschriebene Aufgabenstellung interessant. Die Verfügbarkeit als Massenprodukt wirkt sich zwar negativ auf die optischen Qualitäten aus, diese kann jedoch durch Verwendung eines geeigneten Abbildungsmodells rechnerisch ausgeglichen werden ([LENZ88]), ([FÖHR90]). Insbesondere muß ein solches photogrammetrisch basiertes Verfahren von DT 24 30 058 A1 abgegrenzt werden, da die dort zur Vermessung der Roboterposition eingesetzte Videokamera lediglich die geometrische Verkürzung spezieller Zeichen auswertet und damit weit jenseits der für die Vermessung in Fertigungszellen erforderlichen Genauigkeit liegt.

Stand der Technik für die Vorgehensweise bei der Kalibrierung ist die Verwendung von vorher vermessenen Kalibrierungskörpern mit Markierungen, die als Paßpunkte einmalig zur Bestimmung der Abbildungsparameter genutzt werden ([PHIL81]), ([FÖHR90]). Erweitert wurde der Ansatz bei bewegten Kameras durch eine Nachkalibrierung der sog. äußeren Orientierung der Kamera, das sind die Bewegungsfreiheitsgrade der Kamera, mit Hilfe dauernd sichtbarer ebener Paßpunktanordnungen ([MEIS89]).

Offenbarung der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur räumlichen Positionsmessung in Roboterarbeitsräumen so auszubilden, daß der Roboter selbst die Paßpunkte für die Kalibrierung eines elektronischen Bildaufnehmers liefert und dadurch für die folgenden Vermessungen von Neupunkten ein gemeinsames Koordinatensystem zur Verfügung stellt.

Unter der Kalibrierung eines Bildaufnehmers wird der Vorgang verstanden, bei der durch eine einmalige Gegenüberstellung von bekannten Weltkoordinaten (Paßpunkte) und den zugehörigen Bildpunkten eine eindeutige Transformationsvorschrift von Welt- in Bildkoordinaten bestimmt wird. Eine solcherart kalibrierte Kamera kann dann unter bestimmten Randbedingungen für die räumliche Vermessung von Szenenpunkten (Neupunkte) eingesetzt werden. Diese Kalibrierungsverfahren und die Randbedingungen für die Neupunktvermessung sind an sich bekannt (z. B. ([FÖHR90]), ([MEIS89])). Im Ausführungsbeispiel wird ein einfaches Abbildungsmodell und seine Kalibrierung vorgeführt.

Neu in dieser Erfindung ist die Verwendung des Roboters für die Erzeugung der Paßpunkte und dadurch die

gleichzeitige Bereitstellung eines gemeinsamen Koordinatensystems, z. B. des des Roboterkoordinatensystems, für alle Komponenten der Fertigungszelle. So können die von den kalibrierten Bildaufnehmern gelieferten räumlichen Informationen direkt im Steuerungsprogramm des Roboters Verwendung finden. Entsprechend vorbereitete Positionsvariablen können dann in diesem Programm zur Laufzeit mit den so gewonnenen Werte besetzt werden.

Im einzelnen sind folgende Phasen innerhalb des im Patentanspruch aufgeführten Verfahrens vorgesehen:

1. Kalibrierungsphase (Verfahrensschritte (a) bis (c)) In der Fertigungszelle werden an verschiedenen Stellen zur Überwachung von Rendezvous-Punkten elektronische Bildaufnehmer installiert. Ihre Position wird so gewählt, daß der jeweilige Szenenausschnitt optimal in Bezug auf Auflösung und Blickfeld gestaltet ist. Zur vollständigen räumlichen Vermessung sollte ein Szenenpunkt von zwei Kameras erfaßt werden können.

Andernfalls müssen Randbedingungen, wie z. B. die Einschränkung von Freiheitsgraden der zu vermessenden Objekte oder die Vorgabe von Abmessungen, berücksichtigt werden.

Der Robotereffektor ist nun mit einer Markierung versehen, deren Position relativ zum Roboterkoordinatensystem, beispielsweise dem Werkzeugmittelpunkt (TCP, tool center point) bekannt ist. Für den Roboter wird nun ein Bewegungsprogramm erstellt, in dem so viele Positionen angefahren werden, daß für die Parameteridentifikation des verwendeten Abbildungsmodells der Bildaufnehmer genügend viele Paare von Paßpunktkoordinaten und zugehörigen Bildpunktkoordinaten gebildet werden können. Diese Paare werden nun unter Berücksichtigung der Ausgleichsrechnung zur Bestimmung der einzelnen Parameter einschließlich der Position und Orientierung des Aufnehmers relativ zum Roboterkoordinatensystem herangezogen.

2. Vermessungsphase (Verfahrensschritte (d) bis (f)).

Die nun kalibrierten Kameras überwachen die ihnen zugeordneten Rendezvous-Punkte. Diese können aufgrund ihrer Gestalt als markante Punkte im Bild sichtbar werden oder mit Hilfe von Markierungen gekennzeichnet werden. Die ermittelten Bildkoordinaten werden mit Hilfe des Abbildungsmodells in die Welt zurückprojiziert und mit der Projektion der Bildkoordinaten des zeitgleich aufgenommenen, gleichen Objektpunktes aus einem anderen Bild geschnitten (Räumlicher Vorwärtsschnitt nach ([WALD79])). Das Ergebnis des Vorwärtsschnitts ist die räumliche Koordinate des beobachteten Objektpunktes im Koordinatensystem der vorangegangenen Kalibrierung.

Der räumliche Vorwärtsschnitt mit Hilfe zweier Projektionsstrahlen kann ersetzt werden durch die Projektion bekannter Formen auf einen einzigen Bildaufnehmer. In ([FÖHR90]) finden sich Rechenvorschriften für die ebenen Grundformen Kreis und Polygon.

Die Markierung des Robotereffektors und der peripheren Einrichtungen kann auf verschiedene Weise realisiert werden.

In einer Ausgestaltung des Verfahrens wird ein passives, reflektierendes System am Effektor mit einer aktiven Beleuchtung parallel zur Kamera benutzt. Die zurückgeworfenen Lichtstrahlen erzeugen im Vergleich zur Umgebung einen hohen Helligkeitspegel.

In einer alternativen Ausgestaltung werden schaltbare Lichtquellen als Markierung verwendet. Durch eine rechnerische oder meßtechnische Differenzbildung zwischen einem Bild mit ein- und einem mit ausgeschalteter Lichtquelle wird die Markierung im Bild besonders hervorgehoben. Die geschaltete Lichtquelle kann bei kontinuierlicher Überwachung regelmäßig vom Bildaufnehmer oder ereignis- respektive programmgesteuert vom Roboterprogramm ausgelöst werden.

Bei schwierigen Umgebungsbedingungen kann zur besonderen Hervorhebung im Bild auch eine Farbselektion durch die Verwendung optischer Filter auf Lichtquelle und Bildaufnehmer eingesetzt werden.

Es gibt Ausgestaltungen des Verfahrens, in denen die Kalibrierung einmalig ist, z. B. bei fest montierten Robotern. In anderen Ausgestaltungen muß die Kalibrierung jedesmal neu durchgeführt werden, wenn sich das Bezugssystem des Roboters geändert hat. In diesem Fall verkürzt die gleichzeitige Verwendung von mehreren Markierungen die Ausführungszeit der Kalibrierungsphase.

Neben dem Roboter können in weiteren Ausgestaltungen des Verfahrens auch Teile der peripheren Einrichtungen beweglich sein. Dann vermessen die auf das Roboterkoordinatensystem kalibrierten Bildaufnehmer die Position und die Orientierung dieser Teile jeweils neu, wenn durch eine geeignete Anbringung der Bildaufnehmer ein oder mehrere Markierungen aufgenommen werden.

Analog kann ein Programmierzeiger zur Angabe räumlicher Koordinaten oder Orientierung verwendet werden. In einer Ausgestaltung des Verfahrens können so, ohne den Roboter zu bewegen, Positionen und Orientierungen gezeigt und damit für die Programmierung gelernt werden. Durch die auf das Roboterkoordinatensystem kalibrierten Bildaufnehmer liegen alle Meßergebnisse der Vermessungsphase bereits im richtigen Koordinatensystem vor.

In einer letzten Ausgestaltung des Verfahrens werden auch alle mit den auf das Roboterkoordinatensystem kalibrierten Bildaufnehmern vermessenen Werkstücke unmittelbar für das Roboterprogramm geeignet in ihrer Position bestimmt. Als Meßpunkte können hier speziell aufgebrachte Markierungen oder markante Details wie Ecken oder Bohrungen verwendet werden.

Erläuterung der Zeichnungen

Bild 1b zeigt das in der Photogrammetrie übliche und zur Lochkamera (**Bild 1a**) mathematisch äquivalente Abbildungsmodell eines Bildaufnehmers. Dabei wird die lichtempfindliche Fläche (Bildebene BE), die physikalisch hinter der Optik sitzt, wie eine Mattscheibe gleicher Größe im gleichen Abstand vor dem Linsenmittelpunkt L behandelt. Dieser Linsenmittelpunkt wird im folgenden zum Projektionszentrum O. Durch diese Vorgehensweise braucht für die Abbildung einer Szene keine Umkehrung berücksichtigt werden.

Bild 2 zeigt die innere und äußere Orientierung eines idealisierten Bildaufnehmers sowie einen Punkt P_i im

Raum, der zur Parameteridentifikation der Orientierungsparameter verwendet werden soll. O mit den Koordinaten (x_o, y_o, z_o) stellt das Projektionszentrum dar, c wird Kammerkonstante genannt und ist der Abstand zwischen der Bildebene BE und dem Projektionszentrum O , B_i mit den Bildkoordinaten (u_i, v_i) ist das Abbild der Raumkoordinate P_i . Der Durchstoßungspunkt der optischen Achse durch die Projektionsfläche ist der sogenannte Bildhauptpunkt $H(u_h, v_h)$. Zur Kalibrierung sei ein gemeinsames Koordinatensystem (x, y, z) gegeben. Für reale Bildaufnehmer muß noch die Verzeichnung der Optik mit berücksichtigt werden.

Bild 3 zeigt den räumlichen Vorwärtsschnitt mit Hilfe von zwei Bildaufnehmern. Die Projektionszentren O_1 und O_2 der beiden Bildaufnehmer seien in einer Kalibrierungsphase im gemeinsamen Koordinatensystem bestimmt worden. Dann ist der Basisvektor b die Differenz der beiden Ortsvektoren zu den Projektionszentren. Aus den Bildkoordinaten (u_1, v_1) und (u_2, v_2) des gleichen Objektpunktes in den beiden Bildebenen BE_1 und BE_2 können nun eindeutig zwei Strahlen r_1 und r_2 in Richtung dieses Objektpunktes bestimmt werden. Der räumliche Vorwärtsschnitt nimmt nun den Punkt P_0 als den angepeilten Punkt an, der als Mittelpunkt der Strecke zwischen den beiden Punkten P_{01} und P_{02} liegt. Diese beiden Punkte ergeben sich an der Stelle nächster Nachbarschaft der aus Auflösungsgründen als windschief angenommenen Strahlen. In [FÖHR90] ist die vollständige Lösung angegeben.

Bild 4 zeigt nun ein Szenario aus mehreren ortsfesten Bildaufnehmern B_i ($i = 1 \dots 5$) in einer Fertigungszelle mit einem Roboter R , einer Zuführungseinrichtung (Fließband F) und einem Entnahmeort mit zwei Behältern K_1 und K_2 . Bild 4a zeigt die Aufsicht, Bild 4b eine Ansicht der Fertigungszelle. In der Kalibrierungsphase fährt der Roboter die Positionen P_{11} bis P_{1n} sowie P_{21} bis P_{2m} an und erlaubt so für die Kalibrierung der Bildaufnehmer die Vorgabe der benötigten Paßpunkten.

In der Vermessungsphase können die unterschiedlichen Behälterpositionen der Zulieferteile über die Bildaufnehmer B_1 und B_2 vermessen werden, während die Position der Verpackung S auf dem Fließband von den kalibrierten Bildaufnehmern B_3 , B_4 und B_5 überwacht wird. Das Fließband verfügt für eine ebene Nachkalibration über zusätzliche Markierungen MF .

Ausführungsbeispiel der Erfindung

In Bild 4 ist das Szenario einer typischen Fertigungszelle mit einem Roboter, einer Zuführungseinrichtung und einer Verpackungsstation gezeigt. Fünf CCD-Kameras sind paarweise über der Zuführungseinrichtung und flächendeckend über dem Fließband, das die Verpackung transportiert, angeordnet.

Bei der hier gezeigten Handhabungsaufgabe sollen verschiedene Teiletypen, die jeweils einzeln in Behälter zugeführt werden in eine Schachtel auf einem Fließband verpackt werden. Die Bildaufnehmer B_1 und B_2 in Bild 4 können die in den Behältern befindlichen Teile lokalisieren und deren räumliche Position und Orientierung der Robotersteuerung für den Greifvorgang melden. Die Bildaufnehmer B_3 , B_4 und B_5 überwachen die Position der zu bestückenden Verpackungen S auf dem Fließband. Jeder Bildaufnehmer kann durch die Beschränkung auf ebene Freiheitsgrade der Verpackungen und der Vermessung der Ebene mit Hilfe der Markierungen MF jeweils einzeln bereits räumliche Positionen aus dem Blickfeld melden.

Zur Beschreibung des Projektionsverhaltens der Kameras wird im vorliegenden Ausführungsbeispiel ein einfaches lineares Kameramodell nach Bild 2 verwendet (z. B. [KRAU83]):

$$u = (h_{11} \cdot x + h_{12} \cdot y + h_{13} \cdot z + h_{14}) / (h_{31} \cdot x + h_{32} \cdot y + h_{33} \cdot z + 1),$$

$$v = (h_{21} \cdot x + h_{22} \cdot y + h_{23} \cdot z + h_{24}) / (h_{31} \cdot x + h_{32} \cdot y + h_{33} \cdot z + 1)$$

mit

$$\begin{aligned} (x, y, z) &= P && \text{Raumpunktkoordinaten,} \\ (u, v) &= B && \text{Bildpunktkoordinaten,} \\ h_{11}, \dots, h_{33} &= H && \text{Abbildungsparameter.} \end{aligned}$$

Die Kalibrierung der Kameras ist gleichbedeutend mit der Bestimmung der Abbildungsparameter H_k (mit dem Kameraindex k , $k = 1 \dots \text{Kameraanzahl}$). Zur Kalibrierung fährt der Roboter im Blickfeld der Bildaufnehmer Punkte an, deren Koordinaten P_i (mit dem Markierungspunktindex i , $i = 1 \dots n$, n ist die Anzahl der Markierungspunkte) bezüglich des Roboterkoordinatensystems bekannt sein müssen. Aus den Bildern der Kameras werden die Bildkoordinaten $B_{k,i}$ der Projektionen der Markierungspunkte bestimmt. Durch Einsetzen der Markierungspunktraumkoordinaten P_i und der zugehörigen Bildkoordinaten $B_{k,i}$ von mindestens 6 Markierungspunkten in obige Gleichungen erhält man für jede Kamera k ein überbestimmtes Gleichungssystem, welches mit Hilfe der Ausgleichsrechnung gelöst wird. Damit sind die Abbildungsparameter $(h_{11_k}, h_{12_k}, \dots, h_{33_k}) = H_k$ für jede Kamera bekannt. Nach [KRAU83] können diese Parameter in die in Bild 2 gekennzeichneten Parameter der inneren (Bildhauptpunkt, Kamerakonstante) und äußeren (räumliche Position und Orientierung des Bildaufnehmers) Orientierung umgerechnet werden.

In der Vermessungsphase werden die unterschiedlichen Behälterpositionen über die kalibrierten Bildaufnehmer B_1 und B_2 vermessen werden. Für die Vermessung der einzelnen Behälter K_1 und K_2 und der in ihnen gelagerten Teile kommt die Methode des Vorwärtsschnitts nach Bild 3 zum Tragen.

Die Position des Behälters S auf dem Fließband wird von den kalibrierten Bildaufnehmern B_3 , B_4 und B_5 vermessen. Markierungen MF auf dem Fließband ermöglichen eine eindeutige Festlegung der Ebene, auf die die Freiheitsgrade der Schachtel beschränkt werden können. Bei bekannter Form der Schachtel sind damit immer die sich dynamisch ändernden Zielpositionen in Bewegungspositionen des Roboters umzurechnen.

Quellenangaben

[FÖHR90]

Föhr, R.: Photogrammetrische Erfassung räumlicher Informationen aus Videobildern industrieller Szenen, Vieweg-Verlag, Wiesbaden, 1990

[ISHI87]

Ishii, M.; Sakane, S.; Mikami, Y.; Kakikura, M.: Teaching Robot Operations and Environments by Using a 3D Visual Sensor System, Intelligent Autonomous Systems, Int. Conf., Dec. 86, Amsterdam, pp. 283–289, North Holland 1987

[KRAU83]

Krauß, H.: Das Bild-n-Tupel, ein Verfahren für photogrammetrische Ingenieurvermessungen im Nahbereich, Dissertation, Stuttgart 1983

[LENZ88]

Lenz, R.: Zur Genauigkeit der Videometrie mit CCD-Sensoren, Mustererkennung 1988, 10. DAGM-Symposium Zürich, Proceedings, Informatik-Fachberichte 180, Springer Verlag, 1988

[MEIS89]

Meisel, A.; Beccard, M.; Föhr, R.; Thieling, L.; Ameling, W.: Schnelle 3D-Positionsbestimmung mit Hilfe einer CCD-Kamera, VDI-Tagung "Kontrollierte Bewegungen: Mechatronik im Maschinen- und Fahrzeugbau", VDI-Bericht 787, S. 291–306, VDI-Verlag, Düsseldorf 1989

[PHIL81]

Philips, J.: Ein photogrammetrisches Aufnahmesystem zur Untersuchung dynamischer Vorgänge im Nahbereich, Dissertation RWTH Aachen, Veröffentlichungen des Geodätischen Instituts der RWTH Nr. 30, 1981

Patentansprüche

1. Verfahren zur berührungslosen räumlichen Positionsmessung in Roboterarbeitsräumen mit dem Ziel, die Bewegungsfreiheitsgrade von Robotern einerseits und Bearbeitungs-, Prüf-, Zuführ- und Abführeinrichtungen (periphere Einrichtungen) andererseits in ein gemeinsames Koordinatensystem abzubilden, mit den Verfahrensschritten:

- (a) Aufnehmen von Bildern eines markierten Robotereffektors an unterschiedlichen, jeweils im Roboterkoordinatensystem bekannten Positionen mit mehreren elektronischen Bildaufnehmern,
- (b) Überführen der aufgenommenen Bilder in eine rechnerverarbeitbare Form mit dem Ziel einer rechnergestützten Weiterverarbeitung,
- (c) Kalibrieren der Bildaufnehmer durch Vorgabe der Effektorpositionen als Paßpunkte und nachfolgender Parameteridentifikation des Abbildungsmodells des Bildaufnehmers,
- (d) Aufnehmen von Bildern des Arbeitsraumes durch die auf ein gemeinsames Koordinatensystem kalibrierten Bildaufnehmer,
- (e) Überführen der aufgenommenen Bilder in eine rechnerverarbeitbare Form mit dem Ziel einer rechnergestützten Weiterverarbeitung,
- (f) räumliches Vermessen von markierten oder markanten Punkten im Blickfeld der kalibrierten Bildaufnehmer durch räumlichen Vorwärtsschnitt korrespondierender Bildpunkte und Zuordnung der Koordinaten im Roboterkoordinatensystem,

dadurch gekennzeichnet, daß

- (g) der Robotereffektor mit einer Markierung versehen ist, die ein eindeutiges Auffinden der Markierung im Bild der verschiedenen Aufnehmer ermöglicht und deren Position relativ zum Roboterkoordinatensystem über die Robotersteuerung ermittelt werden kann,
- (h) die Bildaufnehmer durch die Vorgabe von Effektorpositionen des Roboters als Paßpunkte mit bekannten Koordinaten auf ein gemeinsames Koordinatensystem, z. B. das Roboterkoordinatensystem, kalibriert werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die im Verfahrensschritt (g) genannte Markierung durch reflektierende Einrichtungen realisiert und durch eine parallel zur Blickrichtung der Bildaufnehmer ausgerichtete Beleuchtung besonders im Bild hervorgehoben wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die in Verfahrensschritt (g) genannte Markierung durch ein oder mehrere schaltbare Lichtquellen realisiert und durch einen gesteuerten Helligkeitswechsel besonders im Bild hervorgehoben wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die in Verfahrensschritt (g) genannte Markierung durch ein oder mehrere Lichtquellen realisiert und durch eine Farbselektion mit einer abgestimmten optischen Filterkombination auf Lichtquelle und Bildaufnehmer besonders im Bild hervorgehoben wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Verfahrensschritte (a) bis (c) nur einmalig in der Einrichtphase durchgeführt werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Verfahrensschritte (a) bis (c) zumindest teilweise kontinuierlich wiederholt werden, um eine laufende Anpassung an ein bewegtes Bezugskordinatensystem durchzuführen.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die peripheren Einrichtungen ebenfalls mit einer oder mehreren Markierungen versehen sind, die nach den Verfahrensschritten (d) bis (f) vermessen werden und damit eine eindeutige Zuordnung der jeweiligen Koordinatensysteme der peripheren Einrichtungen auf das gemeinsame Koordinatensystem ermöglichen.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß ein Programmierziger ebenfalls mit einer oder mehreren Markierungen versehen wird mit dem Ziel, eine mit dem Zeiger festgelegte Position und/oder Orientierung im Arbeitsraum durch eine Vermessung nach den Verfahrensschritten (d) bis (f) in Beziehung zum gemeinsamen Koordinatensystem zu setzen.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß Werkstückpositionen entweder durch Vermessung aufgebrachter Markierungen oder markanter Details nach den Verfahrensschritten (d) bis (f) in Beziehung zum gemeinsamen Koordinatensystem gesetzt werden.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

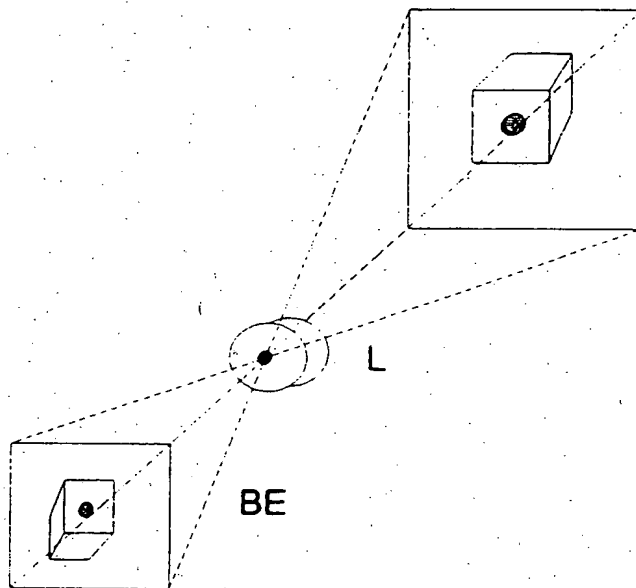


Bild 1a

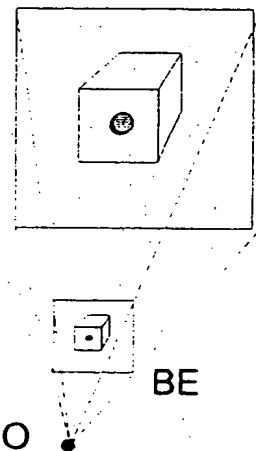


Bild 1b

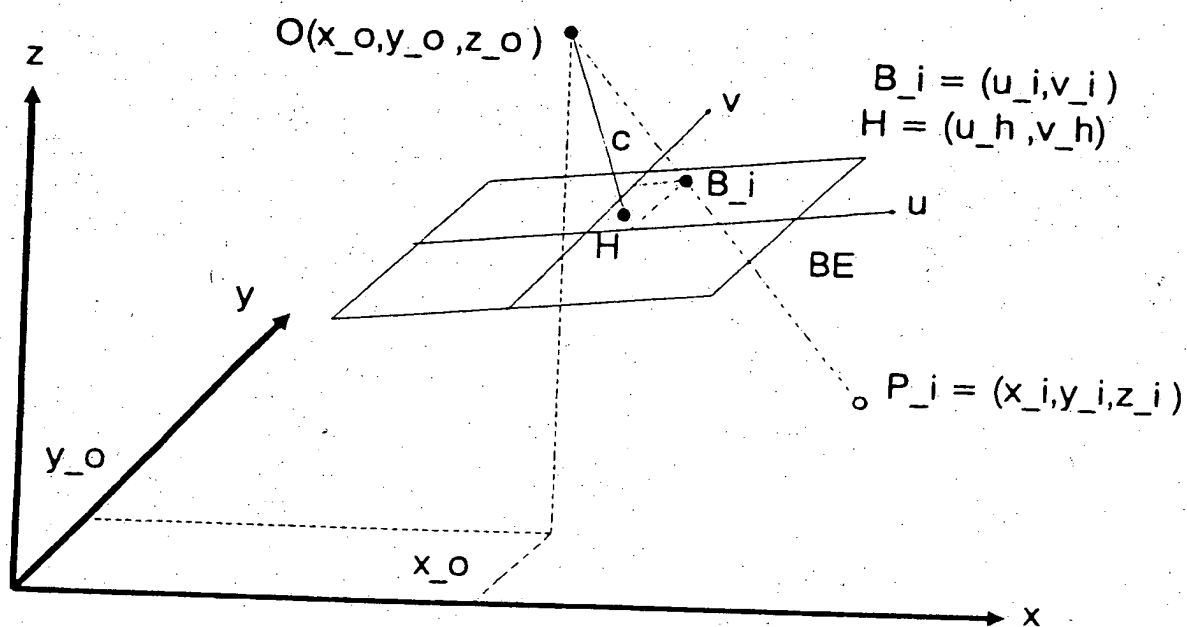


Bild 2

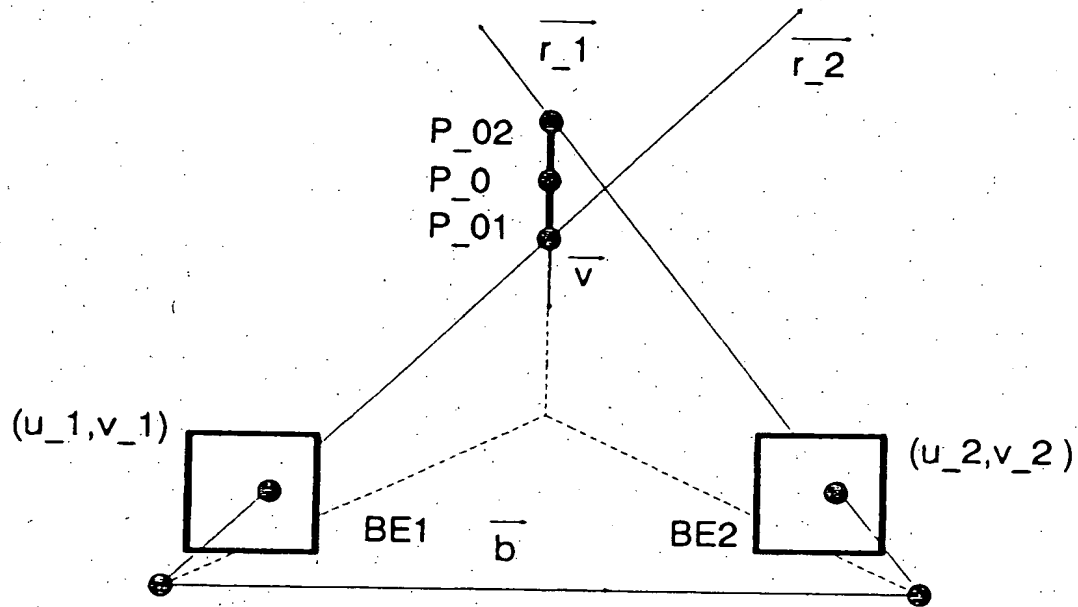


Bild 3

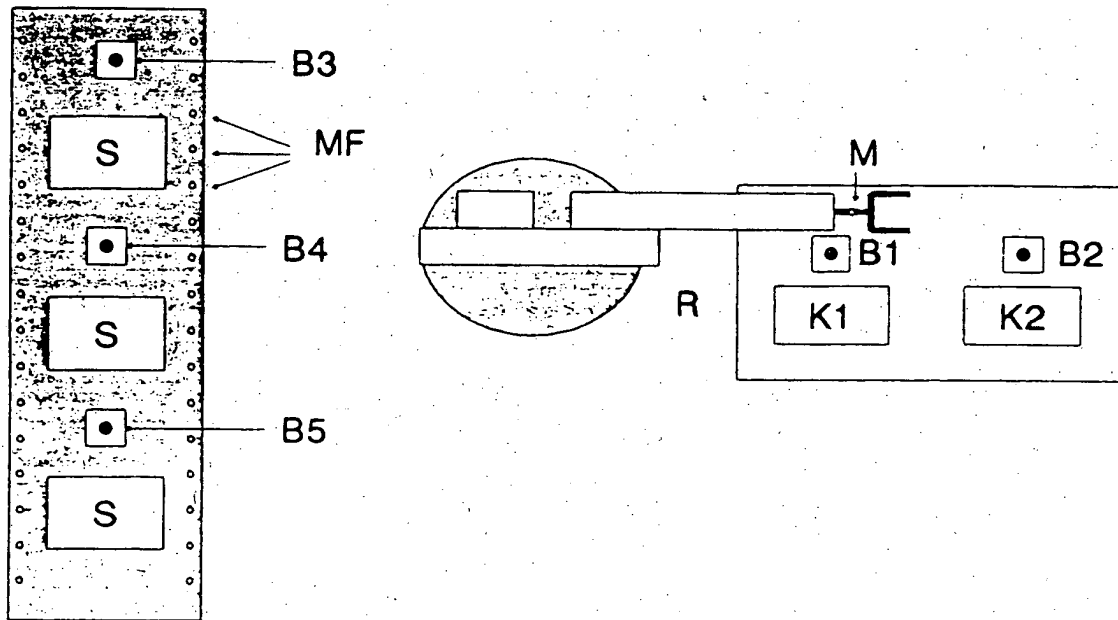


Bild 4a

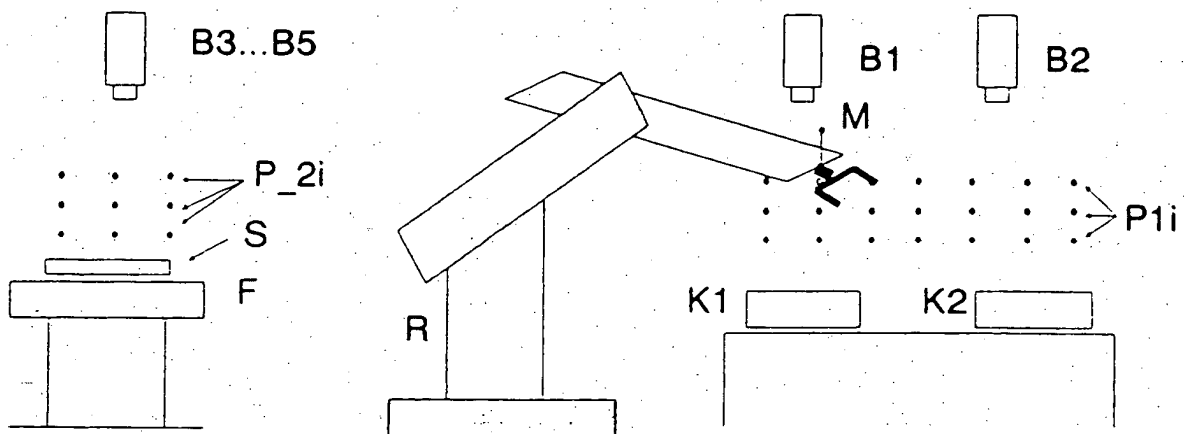


Bild 4b